

鬼怒川中流域の砂礫堆上の礫の形, 大きさと運搬時の磨滅との関係

山本憲志郎

〈目次〉

1. はじめに
2. 調査地域の概要
3. 結果と考察
4. まとめ

1. はじめに

岩質が基盤岩から剥離した礫の形，大きさに影響を与えることはすでにくつかりの報告がなされている．たとえば，上本（1978）や小泉・柳町（1981）は日本の山岳地域において岩質と地形との関わりについて，具体的な研究報告を行っている．筆者も岩質（＝礫の岩種）が周水河性斜面堆積物中の礫の形，大きさに影響することを明らかにしている（山本，1989；1990）．

特に周水河性斜面堆積物（山本，1991；1992），崖錐堆積物（山本，1996），掃流堆積物（山本，1998；2009）については，礫形，礫径とファブリックとの関係についてすでに検討してきた．

しかし，現在まで岩質と河床礫の形，大きさとの間に関係が認められるかどうか，十分な議論がなされていない．そこで本研究では，岩種別に砂礫堆上の礫の形，礫の大きさに特徴が認められるのか，また特徴が認められた際には，岩種ごとに運搬時における礫の磨滅のされ方について検討することを目的とする．

通常，流水によって運搬される岩屑がこすり合ったり衝突し合ったりして，互いに細粒化させる作用を磨滅作用という．しかし，礫同士の衝突による破碎が強く想定される場合には，本研究では特に「破碎作用」と呼称する．また，運搬時における礫同士のこすり合いによる礫の摩耗が卓越すると想定される場合には，磨滅作用の語を使用することとする．すなわち，本研究で用いる「破碎作用」は広義の意味の「磨滅作用」に含まれることとなる．

なお，本論のデータは2002年度の中央学院大学「総合演習」時に収集したものであり，内容の一部を2010年東北地理学会春季学術大会で発表した．

2. 調査地域の概要

2-1. 鬼怒川および調査地点の概要

鬼怒川は帝釈山地，日光火山に発して，宇都宮付近から南流して守谷で利根川に合流している．利根川に合流するまでの中流部で，筑波台地，真岡台地，結城台地などの洪積世台地に挟まれた低地を流れている．

最終氷期の2万数数千年前まで，鬼怒川は小貝川が現在流れている小貝川低地から協和台地を経て桜川低地を流れ，土浦から霞ヶ浦の底に深い谷をつくって流れて，鹿島沖で太平洋に注いでいた．鬼怒川はその後，今の小貝川，次に大谷川，さらに西の現在のコースへ移動した（池田ほか，1977；池田，1981；池田ほか，1982）．調査地点は鬼怒川中流の砂礫堆（JR水戸線川島駅橋下の左岸．写真1）である．この地点の河床は砂礫からなり，勾配は約1/400と急であり，扇状地性平野の性質を示す．この調査地点の下流側は河床が砂からなり，勾配も1/1,200と急減し，氾濫原の性質を示す．なお，鬼怒川が下流域で低地中央ではなく，台地に沿って流れているのは，堆積物（特に粘土）によって側方移動が制約されているため（松本・池田，1996）と考えられる．

調査地点の砂礫堆は顕著な2層構造を示す（上部：礫層，下部：砂層：写真2）．表層部の礫は推定流下方向に対して長軸を直交させるものが多く（写真3），掃流堆積物の特徴的なファブリック（山本，2009）を示す．また，インプリケーションの発達も認められる．

砂礫堆上の礫は帝釈山地，日光火山から約100kmから数十kmを鬼怒川によって運搬，堆積されたものである．礫種は上流域の地質を反映し，調査地点では主に砂岩，泥岩，チャート，安山岩，石英斑岩の5種類が認められた．

2 - 2. 調査項目

鬼怒川中流の砂礫堆（JR 水戸線川島駅橋下の左岸、写真4）に10m×10mの計測区画を設置した。その区画内より大きいと思われる礫を岩種別（砂岩、泥岩、チャート、安山岩、石英斑岩）に20個選定した。砂岩は砂粒子が粘土物質や炭酸カルシウムなどで膠結された堆積岩である（写真5）。泥岩はシルト、粘土の粒子で構成された堆積岩で、剥離性はほとんど示さない（写真6）。チャートは微粒珪質（二酸化珪素に富む）堆積岩の総称で、極めて硬い（写真7）。安山岩は非アルカリ岩質の火山岩で、一般に斑状である（写真8）。石英斑岩は珪長質（石英や長石に富む）斑状火成岩である（写真9）。

選定された礫について3軸長（a軸、b軸、c軸）、クルンバイン（1941）の円形度指標⁽¹⁾による円形度を計測した。算出されたb/a軸比、c/b軸比に基づいて、礫の形をZingg（1935）のカテゴリーに従って分類した。

[注]

(1)この指標は0.1～1.0まで0.1階級刻みに10階級に分類されており、それぞれの階級の礫の形が模式図で示されている。計測では、礫を1個ずつ模式図と対照して、どの階級に属するかを決定する。数値が小さい階級ほど、角ばった礫であることを示し、逆に数値が大きい階級の礫は丸い礫であることを示す。

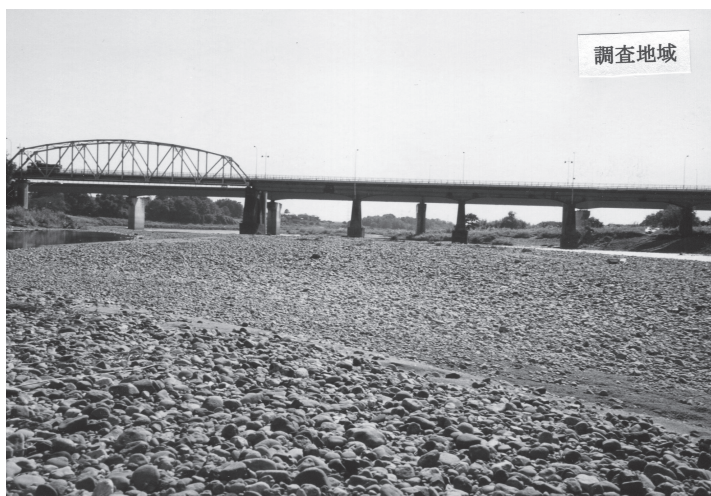


写真1 鬼怒川中流域における砂礫堆

Photo 1 General view of bars in the middle reach along the Kinu River.



写真2 調査地域の砂礫堆上の礫とその下位の砂層

Photo 2 Gravels with 30 cm thick overlies sorted sand, which is more than 1 m thick, in the study area.



写真3 砂礫堆上の礫のオリエンテーション（推定古流向はハンマーの柄の方向）

Photo 3 Arrangements of gravels transported by traction in the study area.



写真4 調査区画の様子（10m×10m）

Photo 4 General view of gravels on bars at the study division (10m×10m).



写真5 計測礫 (砂岩)

Photo 5 Twenty gravels of sandstone with the largest b-axis.



写真6 計測礫 (泥岩)

Photo 6 Twenty gravels of mudstone with the largest b-axis.



写真7 計測礫 (チャート)

Photo 7 Twenty gravels of chert with the largest b-axis.



写真8 計測礫 (安山岩)

Photo 8 Twenty gravels of andesite with the largest b-axis.



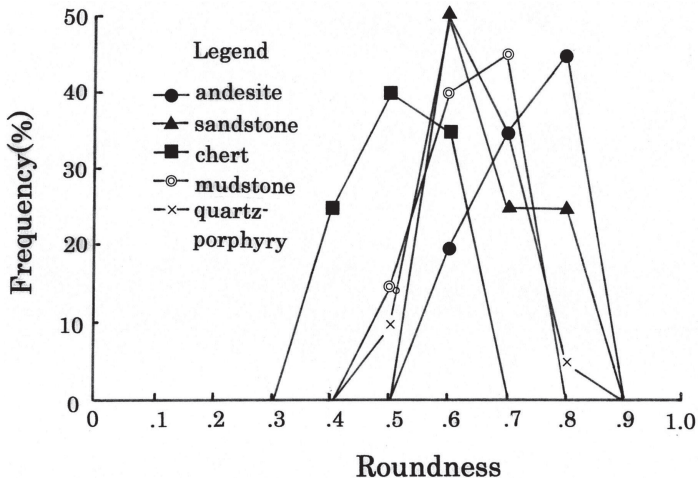
写真9 計測礫 (石英斑岩)

Photo 9 Twenty gravels of quartzporphyry with the largest b-axis.

3. 結果と考察

3-1. 円形度

円形度の計測結果を第1図に示す。最頻値の出現階級は、安山岩は0.8、泥岩は0.7、石英斑岩と砂岩が0.5、チャートが0.4である。平均円形度も同様の傾向を示し、高い値を示す岩種から順番に安山岩 (平均:0.72)、砂岩 (平均:0.68)、石英斑岩 (平均:0.64)、泥岩 (平均:0.63)、チャート (平均:0.51) となる (第1表)。この結果から、安山岩は明らかに丸い礫が多く、反対にチャートは角ばった礫が多いことを示している。また、泥岩、石英斑岩および砂岩の順番で円形度は小さくなって角ばった礫が多くなるといえよう。



第1図 各岩質別にみた礫の円形度の出現頻度

Fig.1 Changes in frequency (%) related to gravel roundness in different rock types.

第1表 各岩質の礫の円形度

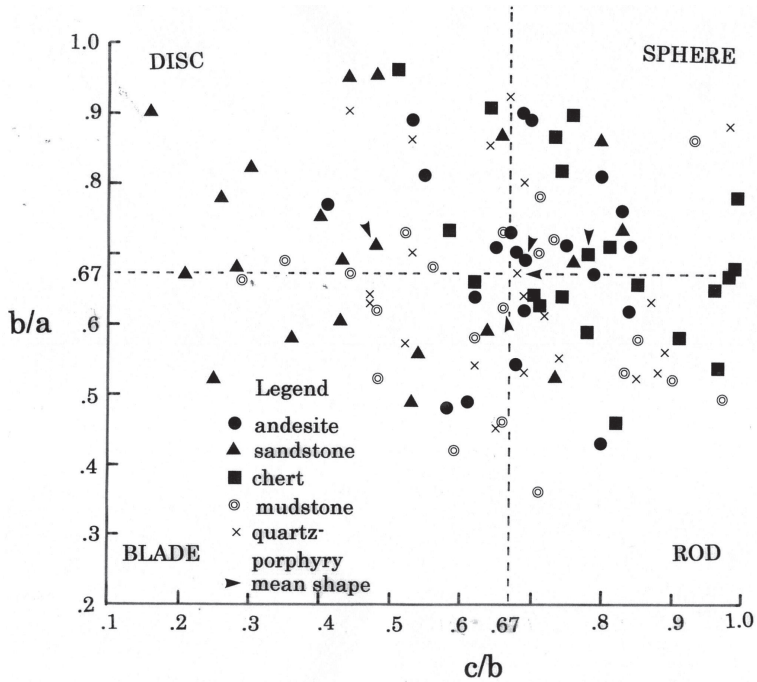
Table1 Roundness of gravels in different rock types.

Roundness porphyry	Andesite Mudstone	Sandstone	Chert	Quartz- porphyry	Mudstone
0.1	0%	0%	0%	0%	0%
0.2	0%	0%	0%	0%	0%
0.3	0%	0%	0%	0%	0%
0.4	0%	0%	25%	0%	0%
0.5	0%	0%	40%	10%	15%
0.6	20%	50%	35%	50%	40%
0.7	35%	25%	0%	35%	45%
0.8	45%	25%	0%	5%	0%
0.9	0%	0%	0%	0%	0%
1.0	0%	0%	0%	0%	0%
Mean	0.73	0.68	0.51	0.64	0.63

円形度の階級値は Krumbein (1941) による。各岩質の礫の値は出現頻度 (%)。

Class values show ranks of roundness defined by Krumbein (1941) .

Each value in rock types shows frequency(%).



第2図 各岩質別にみた礫の形態 (形態区分は Zingg, 1935による)
 Fig.2 Gravel shape indicated by Zingg's diagram (1935) in different rock types.

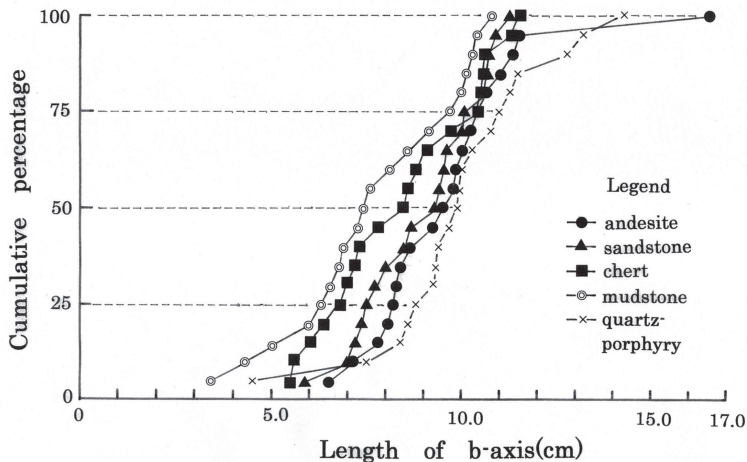
第2表 各岩質の礫の形態
 Table2 Gravel shapes in different rock types.

	Disc	Sphere	Blade	Rod
Andesite	20%	40%	15%	25%
Sandstone	50%	15%	30%	5%
Chert	20%	25%	0%	55%
Quartzporphyry	25%	10%	20%	45%
Mudstone	20%	25%	35%	20%

Disc (円盤状), Sphere (球状), Blade (小判状) および Rod (棒状) の区分は Zingg (1935) による。各値は出現頻度。
 Disc, Sphere, Blade and Rod are defined by Zingg (1935). Each value separated in rock types shows frequency (%).

この結果は各礫種ごとの礫の硬さと密接な関係を示している。現地における岩石ハンマーによる打撃を加えた際の礫の観察や、礫同士をぶつけあった観察によれば、明らかにチャート礫は硬い。岩石ハンマーによる打撃を与えた場合、ほとんどの事例で破碎が発生し、岩石表面が凹む打撃痕が残る場合はない。これとは逆に、安山岩は軟らかい。岩石ハンマーによる打撃を与えた時に、ほとんどの場合、岩石表面に打撃痕が残る。また、上述の現地での観察から泥岩、石英斑岩および砂岩は両者の中間的な硬さをもつことが確かめられた。

この結果は、硬い礫（チャート）ほど、洪水時などに運搬される時に破碎されやすいため、角ばった礫の比率が高くなっていると考えられる。また、軟らかい礫（安山岩）ほど、運搬時に磨滅されやすいため丸い礫が多くなっていると考えられる。計測礫はほぼ同じ砂礫堆で採取されたものであり、これらは運搬時に礫同士がぶつかりあいながら流下してきたのは確実である。その際に岩種がそれぞれにもっている礫の硬さの違いが、「より破碎されやすい礫」と「より磨滅されやすい礫」を生じたと推定される。



第3図 各岩質別にみた礫の粒度分布

Fig.3 Grain size distribution of gravels in different rock types.

3 - 2. 礫形

各岩種別に計測した礫の形体分布（第2図）と disc, sphere, blade および rod 別の構成比（第2表）を示す。

砂岩は disc 型の礫が圧倒的に多い。その構成比は50%を占め、平均形体も disc 型となっている。泥岩は blade 型の礫が多く（構成比35%）、平均形体も rod 型との境界付近に近い blade 型である。両者に共通する形体の特徴は、他の岩種の礫に比較して c/b 軸比が小さいことであるといえよう。砂岩、泥岩は堆積岩であり、そららく基盤から剥離した際の礫の形が強く影響していると考えられる。Blade 型が多い泥岩の礫は、運搬時に b 軸回転を伴った転動をしやすいと推定される。砂岩の平均形体は流速が大きき時は躍動、転動が卓越していたとしても、減水時における滑動の卓越を連想させる。

チャート、安山岩の平均形体は sphere 型であり、特に安山岩では sphere 型の礫の構成比が高い（40%）。これは両者の礫が、全体的に均等な破碎作用（=チャート）および磨滅作用（=安山岩）を受けたためと思われる。円形度が異なる両者の形体が似ていることは、たいへん興味深い事実である。なお石英斑岩は rod 型の礫が卓越するが（55%）、平均形体は砂岩、泥岩、チャートおよび安山岩の中間的な形体となっている。

3 - 3. 礫径

各岩種の礫の b 軸長の変化に対する加算頻度曲線を第3図に示す。各岩種別の曲線は石英斑岩と安山岩の最長軸付近の一か所で交差が認められるが、他の部分では全く交差していない。同じ地点に堆積している礫は、本研究の場合、流水によって選別（=ふるい分けられた）ものであり、同程度の運搬のされやすさを保持していると考えられる。したがって上述の事実は岩種の与える影響が、礫の大きさに明瞭に出現したことを示している。

計測礫について b 軸長の小さいものから大きいものへ並べると、泥岩、チャート、砂岩、安山岩、石英斑岩の順になる。破碎されやすい角ばったチャ

ートや、比較的角ばっている礫が多い泥岩のb軸長が小さくなっている。これは破碎されやすい礫の方が、磨滅作用を受けやすい礫より小さくなりやすいことを示していると推定される。安山岩、石英斑岩は転動によって全体的に磨滅されやすいやういと考えられる。砂岩はdisc型の礫が多く、b軸回転が行われにくいいため、b軸の摩耗が相対的に少なく、そのためにb軸長が中位に位置している可能性があるう。

IV. まとめ

鬼怒川中流域の砂礫堆において以下の調査を行った。砂礫堆に10m×10mの区画を設定し、岩種別（安山岩、砂岩、泥岩、チャート、石英斑岩）に長軸の大きいと思われる方から20個を選定した。選定した各礫の円形度（クルンバインの円形度指標による）、3軸長（a, b, c）を計測した。調査の結果、以下の知見を得た。

- ① チャート、泥岩などの硬いものほど角ばっており、運搬時に破碎されやすい。安山岩などの軟らかいものほど丸いものが多く、運搬時に磨滅されやすいと推定される。
- ② 砂岩はDisc型が多く、泥岩はBlade型、Rod型が多い。これらは基盤岩から剥離した時の形の影響が表出している可能性がある。チャート、安山岩はSphere型が多く、全体的に均等な破碎、磨滅作用を受けやすいと推定される。
- ③ 岩種別にb軸長を小さい方から大きい方へ並べると、泥岩、チャート、砂岩、安山岩、石英斑岩の順となる。泥岩は、その形からも運搬時にb軸回転するものが多いと推定され、そのためb軸が破碎、磨滅されやすいと考えられる。安山岩、石英斑岩は全体的な磨滅、破碎作用を受けやすい。磨滅作用より破碎作用を受けやすい礫の方が、小さくなりやすいと推定される。
- ④ 一般に硬い岩種の礫は、運搬時に破碎作用を受けやすいため、角ばっ

たものが多く、より小さくなりやすい。軟らかい岩種の礫は磨滅作用を受けやすいため、丸いものが多く、小さくなりづらい。礫の形は基盤岩から剥離した時の形の影響や、運搬時の軸回転の様子が影響している可能性が考えられる。

本研究では、同一地点における砂礫堆上の礫に、岩種による円形度、形、大きさに相違が認められた。この事実は、礫は運搬時において岩種別に磨滅、破碎のされ方が異なっていたことを示す。掃流堆積物においても、岩質が礫の大きさや形に影響していると考えられる。

参考文献

- 池田 宏・小野有五・佐倉保夫・増田富士雄・松本栄次 (1977)：筑波台地周辺の地形発達—鬼怒川の流路変遷と霞ヶ浦の成因—。筑波の環境研究 (筑波大学), No.2, p104~113.
- 池田 宏 (1981)：つくば地方の地形環境。筑波古代地域史の研究 (筑波大学), p7~12.
- 池田 宏・水谷かおり・園田洋一・伊勢屋ふじこ (1982)：筑波台地の地形発達—古霞ヶ浦の鳥趾状三角州—。筑波の環境研究 (筑波大学), No.6, p150~156.
- 上本進二 (1978)：白馬連峰の岩石組織と山稜形。地理学評論, 51A, p327~333.
- 小泉武栄・柳町 治 (1981)：木曾山脈主稜部における周氷河性岩屑生産。第四紀研究, 20, p281~287.
- 松本至巨・池田 宏 (1996)：台地に沿う鬼怒川・小貝川中流の地形発達。筑波大学水理実験センター報告, No.21, p51~59.
- 山本憲志郎 (1989)：完新世における日高山脈北部における周氷河性斜面堆積物の移動期。第四紀研究, 28, p139~157.
- 山本憲志郎 (1990)：日高山脈北部における周氷河性斜面堆積物の数量的性質。地理学評論, 63A, p285~314.
- 山本憲志郎 (1991)：周氷河性斜面堆積物における礫径および礫の形態とファブリックストレングスの関係。地形, 12, p135~146.
- 山本憲志郎 (1992)：周氷河性斜面堆積物におけるマクロ・ファブリック。地理学評論, 65A, p114~123.
- 山本憲志郎 (1996)：有珠オガリ山における転・落石および乾燥岩屑流堆積物の

- ファブリック. 地理学評論, 69A, p165~183.
- 山本憲志郎 (1998): 斜面傾斜および礫のファブリックと斜面プロセスの関係.
地形, 19, p243~259.
- 山本憲志郎 (2009): 掃流堆積物の一般的な堆積構造—特に礫の形と大きさが与える影響について—. 『自然・社会・ひと〜地理学を学ぶ〜』, 金沢大学文学部地理学教室編, 古今書院, p2~19
- Krumbein, W.C.(1941): Preferred orientation of pebbles in sedimentary deposits.
Jour. Geol., 47, 673-706.
- Zingg, Th.(1935): Beitrag zur Schotteranalyse. Schweizer. Mineralog. u. Petrog.
Mitt., 15, p 38~140.

Relations of Attrition Both to Size and Shape of Gravels on Bars in the Middle Reach Along the Kinu River

Kenshiro YAMAMOTO

Abstract

Shape, size and roundness of gravels were measured in order to discuss the relation to attrition. Twenty gravels with the largest b-axis were selected for each rock type (sandstone, mudstone, chert, andesite and quartzporphyry) at the study division of 10 m × 10 m on bars in the middle reach along the Kinu River. The main results are summarized below.

Based on the results of roundness defined by Krumbein (1941), the gravels of chert and mudstone contained more sub-angular ones compared with other rock types.

Based on Zingg's shape definition (Figure 2), the gravels of sandstone are mostly plotted in a zone of Disc type, those of chert and andrsite in a zone of Sphere type, and those of mudstone in a zone of Blade or Rod type, while those of quartzporphyry are in a zone intercalated into the above zones.

The gravel size is basically determined by lithological rock types. The length of b-axis of gravels in each rock type varied from shorter to longer one in the order of mudstone, chert, sandstone, andesite and quartzporphyry.

From these results, it is concluded that the attrition characteristics of rock types strongly influence roundness, shape and b-axis length of gravels transported by traction in the study area.

